

パラメータ逐次更新型貯留モデルによる実時間 流出予測手法の検討

—庄内川洪水予測システムを例として—

Study of Real-time Flood Forecast Technique Based on Parameter Sequential Updating Storage Function Model.

- An example of Flood Forecasting System for Shonaigawa River Office. -

稲葉 傑¹・山本幸広¹・鳥山智弘¹・伊藤 猛²・中川隆治³・和田祐典⁴

Suguru INABA, Yukihiro YAMAMOTO, Tomohiro TORIYAMA,

Takeshi ITO, Takaharu NAKAGAWA and Yusuke WADA

¹ 国土交通省中部地方整備局 (前) 庄内川河川事務所 調査課(〒462-0052 名古屋市中区福徳町 5-52)

² 修(工) (株)建設技術研究所 中部支社 河川部(〒460-0003 名古屋市中区錦1-3-18)

³ 正会員 (株)建設技術研究所 中部支社 総合技術部 情報・防災室(同上)

⁴ 正会員 修(工) (株)建設技術研究所 中部支社 総合技術部 情報・防災室(同上)

This paper introduces a flood forecasting system for Shonaigawa River Office, MLIT. Evaluation of Storage function model parameters each 9 rainfall pattern. Rainfall pattern decided from rainfall intensity and cumulative rainfall. The system can contribute to the improvement of the forecast result to small and medium flood, and It suited the rise of the rapid water level brought by a shower rainfall.

Key Words : Flood forecast, Real-time simulation, Radar rainfall gauge, Storage function model

1. はじめに

従来、洪水予測モデルの多くは、計算時間の短さ、モデルの簡便さ等から貯留関数法が用いられており、実時間予測に適用すべく研究がなされてきた^{1),2),3)}。

しかし、一般的な予測手法では、モデル定数同定の際に流量規模の大きい数洪水を対象に行っていることが多いことから、弱い雨が長期間継続する場合や集中豪雨などの降雨パターンに対応できていないのが実情である。

こうした背景のもと、本報告では、降雨強度と累加雨量から降雨パターンの類型化を行い、リアルタイムで受信したレーダー雨量より、降雨パターンを判別し、その時点での最適定数を選択し流出計算に加え、一次流出率 f_i 、飽和雨量 R_{sa} の自動補正機能も導入し、降雨規模だけでなく降雨強度の強い洪水に対しても精度の高い予測システムを構築した事例を報告する。

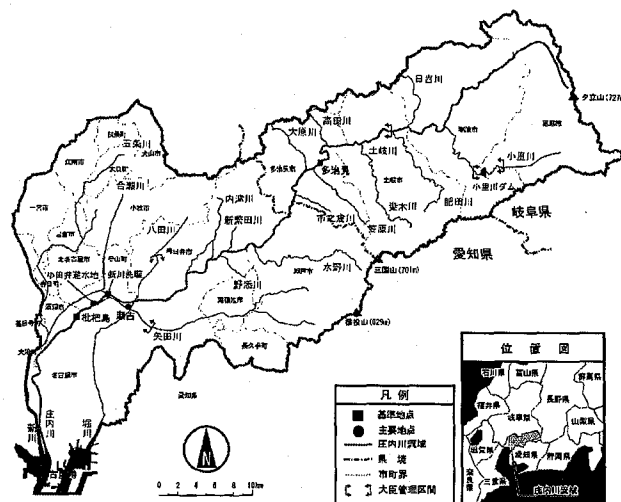


図-1 検討対象流域

流出計算手法には貯留関数法を用いている。モデルは庄内川流域全体を 29 流域(3.5~55.0km²), 12 河道(2.4~15.6km)に分割している。対象流域を図-1に示す。

2. 庄内川洪水予測システムの概要

(2) レーダー雨量データ

流出計算では(財)河川情報センターの 1km メッシュレーダー雨量を用いた実況値の他、3 時間予測雨量(10

(1) 流出計算モデルについて

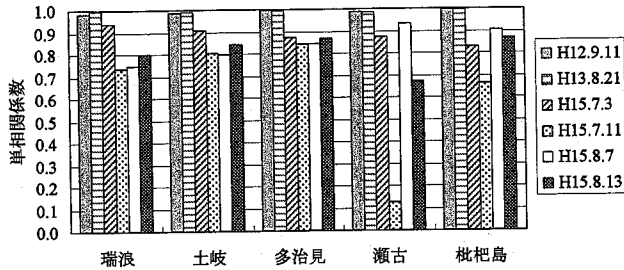


図-2 地上雨量とレーダー雨量の相関係数

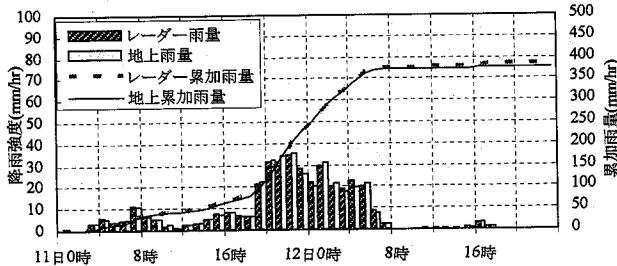


図-3 地上雨量とレーダー雨量の比較(H12/9/11 洪水)

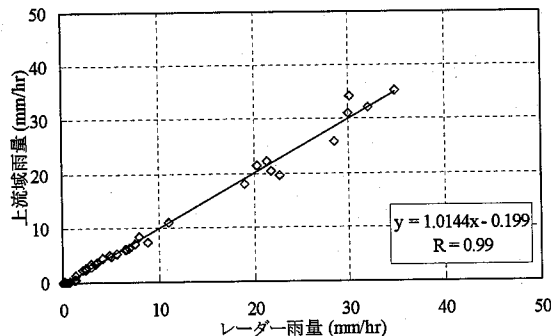


図-4 地上雨量とレーダー雨量との相関(H12/9/11 洪水)

分雨量予測値)を採用し、メッシュ毎の値を流域平均雨量に変換して予測計算に用いている。レーダー雨量を使用するにあたって、地上雨量データとレーダー雨量との比較検討を行った。比較に際してはレーダー雨量データの蓄積が乏しいことから、H12～15年まででデータが存在している6洪水について比較を行った。比較手法は主要準地点(瑞浪、土岐、多治見、瀬古、枇杷島)上流域雨量を算出し、累加雨量曲線及び時間雨量の単相関を比較した。比較結果を図-2に示す。これによると H12,13 年における2洪水については、全地点において平均雨量とレーダー雨量の間に高い相関(0.90 以上)が見られた。

なお、H15.7.11 の瀬古地点上流域雨量についてはレーダー雨量と地上雨量でピーク時刻にズレが生じ、相関が低いものとなった。降雨要因は夕立性であり、雨域は上流部が中心であった。実際の雨域と比較してレーダーが雨域を大きく捉えたために差異が生じたものと推察される。

結果としては、庄内川流域ではレーダー雨量値の方が時間雨量・累加雨量ともに若干大きい値を示すが、概ね適合度は高い。予測計算という観点からみれば、安全側にでており問題ないと考えられる。例として図-3、図-4に枇杷島地点上流域雨量で比較した例を示す。

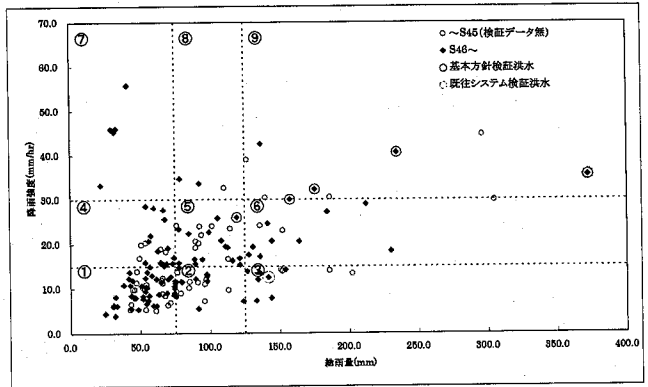


図-5 総雨量と降雨強度の関係(枇杷島地点上流域)

表-1 降雨パターンの分類方法

	累加雨量		
	$R_{sum} < 75$	$75 \leq R_{sum} < 125$	$125 \leq R_{sum}$
降雨強度	⑦ $30 \leq R$ 短時間の出水(夕立等)	⑧	⑨ 既往最大洪水等、非常に規模の大きい洪水
	④ $15 \leq R < 30$	⑤	⑥
	① $R < 15$ 発生頻度の最も高い出水	②	③ 降雨強度は弱く、継続時間の長い洪水

3. 予測計算モデルの構築

計算時間間隔 ΔT はレーダー受信間隔に合わせ 10 分とし、計算時における前期降雨の影響を考慮するために現時刻より 72 時間前に遡って計算を行うものとした。

(1) 降雨パターンの設定

洪水予測の精度を向上させるには、流域・降雨の状況に適応した流出計算モデルを構築する必要がある。貯留関数法は、流域に降った降雨と流出の関係を関数で表現したものであるが、様々なパターンの降雨を1つのモデルで再現するには限界がある。

例えば、総雨量が同じ洪水であっても、降雨強度が大きい洪水(夕立性)と、少雨であっても継続時間が長期間である洪水では、流出形態が異なることが想定できる。

そこで庄内川流域における既往洪水(平成16年までの173洪水)の中から検証データの状況、降雨強度・総雨量を考慮した検証洪水の選定を行った。

図-5に枇杷島地点上流域の総雨量と降雨強度の関係を示す。この総雨量～降雨強度の関係図より、洪水を表-1に示す9パターンに分類して流出計算モデルの検証を行うものとした。

(2) 洪水毎の最適 R_{sa} 算出

検証計算は、検証地点上流域の最適飽和雨量 R_{sa} を求め、この地点の最適流出計算結果を通過流量とし、さらに下流検証地点までの最適 R_{sa} を求めるものとした。検証計算では、モデル定数と各洪水の基底流量を与えた流

表-2 降雨パターン毎の誤差

		総雨量(mm)															
		Rsum<75					75≤Rsum<125					125≤Rsum					
降雨強度		降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	
		7					8					9					
80≤R		小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	
		土岐	34.0	1.12	0.010	0.061	土岐	21.6	0.96	0.168	0.070	土岐	3.5	0.80	0.184	0.078	
		多治見	63.6	2.80	0.102	0.033	多治見	38.8	2.36	0.272	0.064	多治見	56.8	1.56	0.058	0.029	
		志段味	28.0	0.60	0.003	0.023	志段味	15.6	1.08	0.117	0.029	志段味	63.2	0.88	0.006	0.016	
		春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	
		瀬古	64.0	0.46	0.044	0.037	瀬古	68.0	0.74	0.161	0.033	瀬古	132.8	0.92	0.009	0.012	
	枇杷島	49.6	2.16	0.180	0.022	枇杷島	21.6	0.84	0.169	0.025	枇杷島	66.8	1.80	0.040	0.016		
15≤R<30		降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	
		4					5					5					
		小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	
		土岐	23.6	1.12	0.008	0.045	土岐	14.8	1.08	0.231	0.081	土岐	29.5	1.10	0.182	0.036	
		多治見	41.2	1.56	0.099	0.025	多治見	46.4	1.32	0.028	0.044	多治見	60.8	1.52	0.167	0.032	
		志段味	34.0	0.64	0.001	0.033	志段味	26.8	0.88	0.004	0.041	志段味	42.0	1.00	0.134	0.027	
R<15		春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	
		瀬古	34.8	0.62	0.041	0.072	瀬古	100.0	0.78	0.010	0.023	瀬古	131.0	0.74	0.023	0.042	
		枇杷島	38.0	2.28	0.166	0.050	枇杷島	33.2	0.76	0.037	0.034	枇杷島	101.6	1.44	0.031	0.031	
		降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	降雨パターン	最適Rsa	最適K (倍率)	ピーク誤差	波形誤差	
		1					2					3					
		小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	小里川ダム	78.4	1.10	0.021	0.025	
	土岐	18.7	1.07	0.040	0.027	土岐	35.2	1.12	0.103	0.040	土岐	22.7	1.00	0.119	0.042		
	多治見	34.0	2.00	0.093	0.017	多治見	65.6	2.24	0.085	0.018	多治見	66.8	1.24	0.112	0.023		
	志段味	20.0	0.80	0.020	0.010	志段味	40.4	0.96	0.000	0.007	志段味	64.8	0.96	0.001	0.018		
	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049	春日井	57.7	0.30	0.031	0.049		
	瀬古	36.0	1.44	0.335	0.430	瀬古	72.2	0.98	0.042	0.061	瀬古	101.6	1.38	0.005	0.019		
	枇杷島	18.4	1.62	0.110	0.016	枇杷島	58.4	1.68	0.206	0.027	枇杷島	66.0	1.72	0.115	0.011		

出計算を $R_{sa}=0\sim 200\text{mm}(2\text{mm ピッチ})$ で実施し、ピーク誤差が最小となる値を求めた。飽和雨量は、流出計算を行う上で初期値として与えるものである。既往洪水であれば、観測値から基底流量を設定、洪水波形の再現性から飽和雨量を最適化して設定することができる。一方、洪水予測のように、これから発生する洪水に対しては、飽和雨量を何らかの方法で推定するしかない。

飽和雨量 R_{sa} については前節で求めた最適 R_{sa} を初期値として与えることとした。

(3) 降雨パターン毎の最適定数

流出計算の定数解析対象洪水は 9 降雨パターン毎に 5 洪水を選定し、計 45 洪水とした。各パターンの対象洪水をもとに、流出計算モデルによる流出計算を実施し、パターン毎、予測地点毎に洪水の再現性を検証し、最適定数を同定した。表-2に基準地点毎の降雨パターン毎の平均誤差 E (波形誤差 E_w とピーク誤差 E_p の平均)を示す。なお、ピーク誤差と波形誤差は下式により求めた。表中において、 $E<0.030$ は全体(7 地点×9 パターン)の 57%、 $0.03\leq E\leq 0.10$ は 98%であり、パターン毎に再現性の高い定数を選定できている。

$$E_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_0(i) - Q_c(i)}{Q_0(i)} \right)^2$$

$$E_p = \frac{Q_{OP} - Q_{CP}}{Q_{OP}}$$

ここで、 E_w : 波形誤差、 E_p : ピーク誤差
 Q_0 : 実績流量、 Q_c : 計算流量、 n : 計算時間

(4) 降雨パターンを導入することの優位性

図-6に平成 12 年 9 月東海豪雨の枇杷島地点における降雨パターンの変化を、図-7に再現計算結果ハイドログラフ及び、図中波線にて降雨パターンが切り替わったタイミングを示す。また、図中凡例「P1 流量」とは降雨パターン 1 における定数を適用した計算流量について示

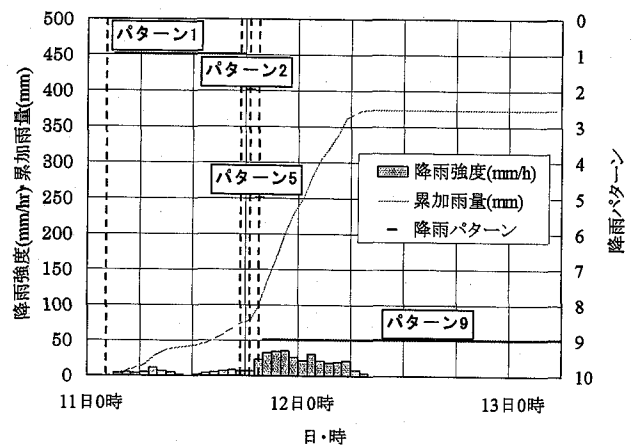


図-6 枇杷島地点上流域雨量 (H12/9/11 洪水)

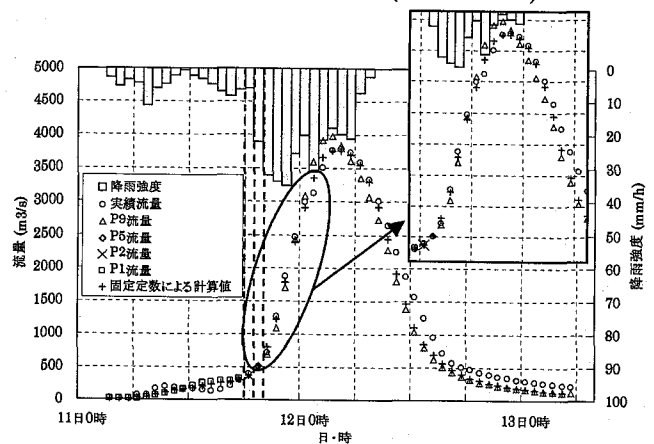


図-7 最適定数による再現計算結果 (H12/9/11 洪水)

したものである。降雨パターンが 2, 5, 9 と変化する時間帯において、定数を変化させることによって波形立ち上がり部での追従が可能となり、定数を固定して計算したものと比較すれば安全側の予測結果が算出可能となる。

4. フィードバック機能の構築

フィードバック方式は流出率 f による方式と、貯留高

表-4 9パターン毎の最適フィードバック適用結果(パターン毎5洪水の平均誤差) (丸数字は降雨パターンを示す)

最適方式	総雨量(mm)																	
	Rsum<75						75≤Rsum<125						125<Rsum					
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱
30≤R	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差
	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後
	土岐	0.096	0.094	0.129	0.028	0.067	1.784	土岐	0.138	0.281	0.815	0.029	4.468	土岐	0.040	0.104	0.112	0.108
	多治見	0.047	0.242	0.242	0.013	0.036	1.133	多治見	0.071	0.155	0.219	0.058	0.041	3.299	多治見	0.366	0.423	0.467
	志段味	0.062	0.220	0.209	0.016	0.023	0.422	志段味	0.050	0.120	0.203	0.039	0.036	1.282	志段味	0.442	0.483	0.532
15≤R<30	瀬古	0.048	0.052	0.132	0.050	0.097	0.817	瀬古	0.014	0.190	0.217	0.030	0.044	2.486	瀬古	0.795	0.832	0.837
	枇杷島	0.027	0.114	0.186	0.008	0.024	0.258	枇杷島	0.069	0.141	0.212	0.007	0.019	0.348	枇杷島	0.028	0.064	0.104
	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差
	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後
	土岐	0.037	0.099	0.239	0.005	0.014	0.120	土岐	0.033	0.169	0.313	0.007	0.027	35.631	土岐	0.070	0.163	0.162
R<15	多治見	0.083	0.177	0.024	0.006	0.010	0.415	多治見	0.034	0.124	0.132	0.006	0.013	14.986	多治見	0.026	0.093	0.295
	志段味	0.177	0.190	0.199	0.023	0.052	0.265	志段味	0.042	0.280	0.203	0.028	0.058	4.419	志段味	0.025	0.084	0.149
	瀬古	0.010	0.055	0.266	0.062	0.152	0.169	瀬古	0.075	0.370	0.265	0.063	0.058	2.384	瀬古	0.151	0.303	0.302
	枇杷島	0.090	0.137	0.115	0.013	0.039	0.137	枇杷島	0.044	0.132	0.119	0.017	0.047	1.331	枇杷島	0.040	0.072	0.137
	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差	ピーク誤差
	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後
	土岐	0.146	0.270	0.209	0.004	0.009	0.407	土岐	0.118	0.176	0.157	0.037	0.076	0.138	土岐	0.055	0.144	0.252
	多治見	0.140	0.111	0.158	0.007	0.013	0.236	多治見	0.033	0.053	0.114	0.052	0.085	0.201	多治見	0.098	0.126	0.234
	志段味	0.035	0.003	0.045	0.053	0.162	0.275	志段味	0.009	0.014	0.038	0.068	0.082	0.120	志段味	0.056	0.061	0.019
	瀬古	0.035	0.003	0.045	0.053	0.162	0.275	瀬古	0.098	0.133	0.121	0.093	0.140	0.152	瀬古	0.027	0.187	0.290
	枇杷島	0.136	0.099	0.053	0.005	0.014	0.170	枇杷島	0.067	0.101	0.138	0.061	0.059	0.276	枇杷島	0.036	0.093	0.185

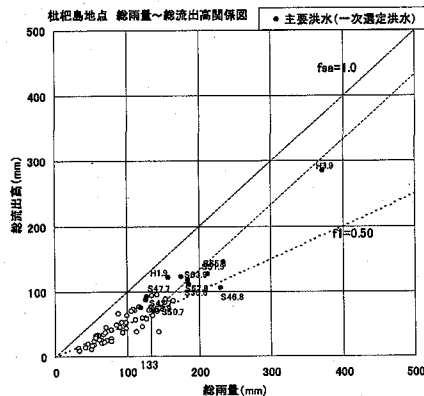


図-8 総雨量～総流出高の関係から見た一次流出率

Sによる方式を導入し、最終的には2種のフィードバック手法を組み合わせ、予測モデルに実装している。実際の予測計算時には、降雨パターン毎の最適定数を用い、現時刻の流出率fによるフィードバックを行い、更に貯留高Sによるフィードバックを行った結果を予測結果としている。

(1) 流出率fによるフィードバック

流出率fによるフィードバックは時々刻々と変化する実績流出率fを用いることから、貯留関数法での飽和雨量 R_{sat} を設定する必要がない。これはリアルタイムの予測を行う洪水予報システムで飽和雨量 R_{sat} を仮定せずに済むというメリットがある。

図-8に総雨量と総流出高の関係を示す。図において、総雨量が133mmに達する前(飽和前)の傾き(流出率)は、平均的に0.5程度であるがばらつきがみられる。流出率fによるフィードバックは、このバラツキの範囲で流出率fを最適化し、最適流出率を用いて予測計算を行うものとした。

(2) 貯留高Sによるフィードバック

貯留高Sによるフィードバックは、流域に貯留されている貯留高を流出量(現時刻の流量)に合うように逆算するものである。予測時には、逆算した貯留高を初期値として、予測雨量を与えて流出計算を行う。具体的には、

表-3 最適フィードバック手法による予測結果誤差

パターン9 H12.9.11	ピーク誤差			波形誤差		
	1時間後	2時間後	3時間後	1時間後	2時間後	3時間後
土岐	0.050	0.100	0.113	0.202	0.564	2.406
多治見	0.028	0.051	0.081	0.071	0.214	1.553
志段味	0.020	0.053	0.064	0.041	0.128	1.309
瀬古	0.084	0.029	0.022	0.172	0.126	0.970
枇杷島	0.026	0.059	0.025	0.025	0.065	0.372
平均	0.042	0.059	0.075	0.102	0.219	1.322

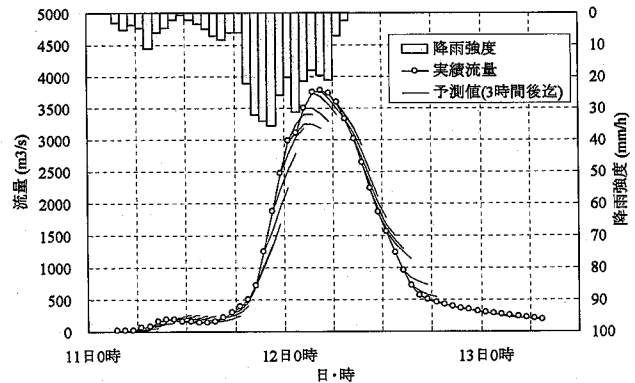


図-9 最適フィードバック手法による
枇杷島地点予測結果(H12/9/11洪水)

貯留関数の定数は固定しておき、当該時刻における計算流量と実測流量の差(ΔQ)に対応する当該時刻の貯留量を増減させ、次時刻以降の流出量を算定するものである。

大規模洪水時には、当該時刻の貯留量を同時刻の流量にあわせて増減させることは大勢に影響せず、中小洪水においては、流出量自体が少ないということに加え、流域における湿潤状態(=貯留量)の大小が流出に影響を及ぼすと考えられる。そのため、短期間の出水時における予測結果向上の為に、貯留高Sによるフィードバック予測を組み込んだ。

(3) 最適フィードバック適用結果

ピーク誤差、波形誤差とも最適フィードバック手法による予測結果は良好であり、特に中小洪水(パターン1, 4, 7)での結果は良好であるといえる。例として、平成12年9月東海豪雨の枇杷島地点における予測計算結果ハイドログラフを図-9に、3時間後までの誤差表を表-3に示す。また、表-4に各基準地点の誤差一覧表を示す。

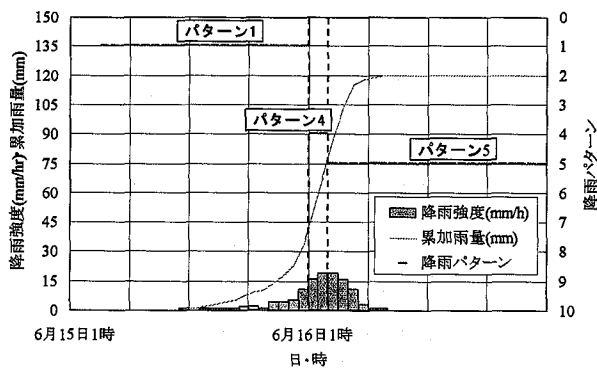


図-10 枇杷島地点上流域雨量 (H18/6/15 洪水)

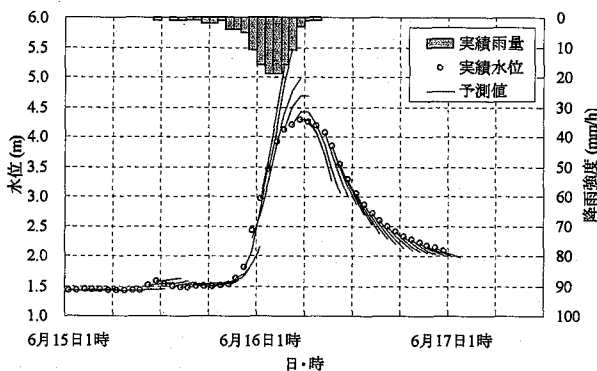


図-11 枇杷島地点の予測結果 (H18/6/15 洪水)

表-5 実績雨量と予測雨量との比較(H18/6/15 洪水)

枇杷島	実績雨量	予測雨量		
		1時間後	2時間後	3時間後
6月15日19時	5.4			
6月15日20時	16.2	8.6		
6月15日21時	26.0	16.4	22.1	
6月15日22時	42.8	31.8	21.6	38.3
6月15日23時	64.8	49.6	89.9	30.0
6月16日0時	57.3	116.6	73.5	93.1
6月16日1時	85.3	75.2	99.3	62.0
6月16日2時	95.0	115.4	86.7	70.7
6月16日3時	22.2	106.3	99.3	67.5
6月16日4時	15.0	16.6	41.6	59.8
6月16日5時	1.3	12.5	9.8	5.0
6月16日6時	0.0	0.0	2.8	0.9
6月16日7時	0.0	0.0	0.3	0.0

5. 実運用開始後の予測結果

ここでは運用開始(平成18年4月)後の実洪水における予測結果について検証を行った結果を示す。

(1) 平成18年6月15日における予測結果

検証期間における降雨は降雨パターン1, 4, 5と変化する降雨状況であった。枇杷島地点におけるハイトグラフを図-10に、予測結果を図-11に示す。また、地上雨量とレーダー予測雨量を比較した結果を表-5に示す。本洪水は最も頻度が高い中小洪水であり、降雨強度が15(mm/hr)程度、累加雨量が120(mm)程度の降雨であった。図-11より、波形立ち上がり部において追従が可能であった。

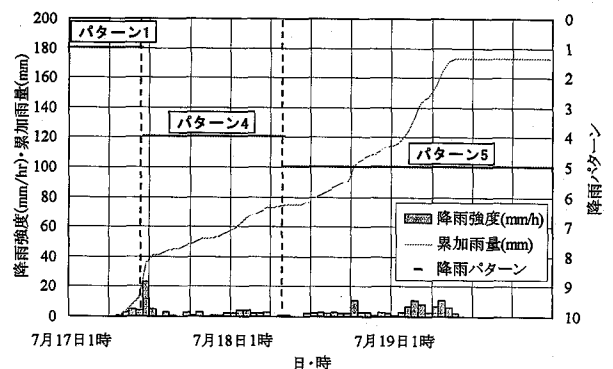


図-12 枇杷島地点上流域雨量 (H18/7/17 洪水)

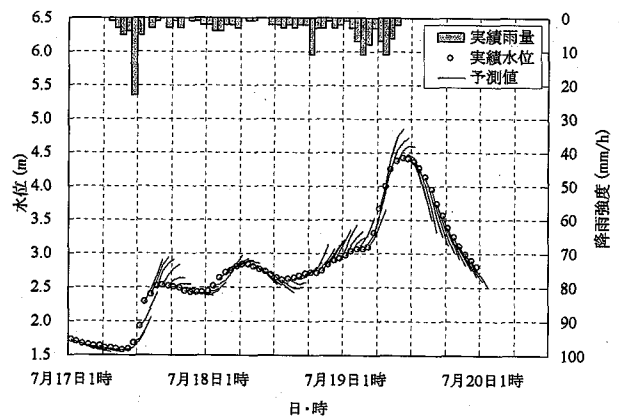


図-13 枇杷島地点の予測結果 (H18/7/17 洪水)

表-6 実績雨量と予測雨量との比較 (H18/7/17 洪水)

枇杷島	実績雨量	予測雨量		
		1時間後	2時間後	3時間後
7月18日24時	18.5			
7月19日1時	8.1	16.0		
7月19日2時	11.7	6.4	7.2	
7月19日3時	26.6	8.4	4.7	3.1
7月19日4時	22.4	25.5	6.9	5.5
7月19日5時	31.8	41.8	48.4	62.1
7月19日6時	23.9	15.7	55.2	73.4
7月19日7時	42.2	8.7	12.1	38.4
7月19日8時	29.2	28.9	12.5	14.3
7月19日9時	15.4	7.9	18.7	12.6
7月19日10時	14.7	14.4	6.2	18.5
7月19日11時	0.1	8.6	16.0	21.3
7月19日12時	0.0	0.0	1.7	15.3
7月19日13時	0.0	0.0	0.0	0.0

(2) 平成18年7月17日における予測結果

検証期間における降雨は地点によってわずかな違いはあるが、パターン1, 4, 5と推移する降雨状況であった。枇杷島地点におけるハイトグラフを図-12に、予測結果を図-13に示す。また、地上雨量とレーダー予測雨量を比較した結果を表-6に示す。

本洪水も降雨パターンは中小洪水であり、降雨強度10mm程度、累加雨量が150mm程度の降雨であった。

(3) 平成18年8月22日における予測結果

検証期間における降雨は地点によって差異があった。上流域ではほとんど降雨は無く、中・下流域において局

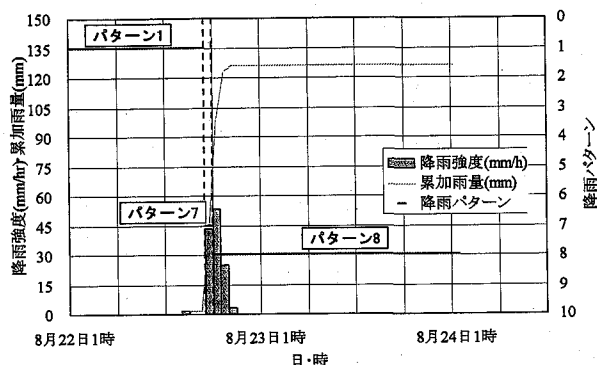


図-14 枇杷島地点上流域雨量 (H18/8/22 洪水)

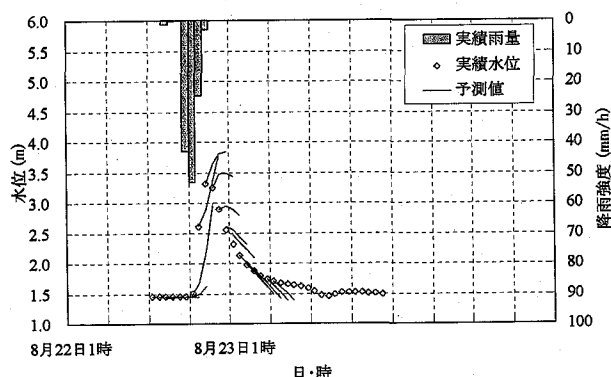


図-15 枇杷島地点の予測結果(H18/8/22 洪水)

表-7 実績雨量と予測雨量との比較(H18/8/22 洪水)

枇杷島	実績雨量	予測雨量		
		1時間後	2時間後	3時間後
8月22日13時	0.0			
8月22日14時	0.0	0.0		
8月22日15時	1.5	2.2	0.0	
8月22日16時	0.2	0.5	6.8	0.0
8月22日17時	0.0	0.1	0.1	0.0
8月22日18時	43.0	0.0	0.0	0.4
8月22日19時	53.3	22.7	0.0	0.7
8月22日20時	24.8	37.0	7.4	0.0
8月22日21時	3.1	28.0	22.2	0.0
8月22日22時	0.0	0.8	18.9	5.5
8月22日23時	0.0	0.0	0.1	19.2
8月22日24時	0.0	0.0	0.0	3.9
8月23日1時	0.0	0.0	0.0	0.0

地的な豪雨が生じた。枇杷島地点におけるハイトグラフを図-14に、予測結果を図-15に示す。また、地上雨量とレーダー予測雨量を比較した結果を表-7に示す。降雨パターンは1, 7, 8へと推移し、短時間の間に急激な変化が起きた。本洪水は夕立性降雨と判定でき、枇杷島上流域においては降雨強度50mmを超え、累加雨量は125mmを若干超える降雨であった。この洪水においては、8/22日18時において予測値が追従しなかった事象については、当該時刻における予測雨量が1時間後：22.7mm、2時間後：7.4mm、3時間後：0.0mmであったにもかかわらず、実際には19時に実測雨量が53.3mmの降雨があった。予測雨量が実測雨量に比べ過小であったため、水位予測結果が実測より低い値となったといえる。

6. まとめ

1) 降雨パターン毎の最適定数を適用することで、実績洪水における計算値と実測値の適合性を平均誤差率(波形誤差 E_w とピーク誤差 E_p の平均)で評価すると、(検証地点7地点×降雨9パターン)の57%で $E < 0.030$ 、 $0.03 \leq E \leq 0.10$ は98%となり、洪水の再現性の高さが検証された。

2) また、実装した最適フィードバック手法は、ピーク誤差、波形誤差とも適合性が良好であり、夕立性降雨によりもたらされる急激な水位の上昇にも適合可能であり、中小洪水に対する予測結果の向上に寄与することが確認できた。本システムは、国土交通省庄内川河川事務所において平成18年4月より運用開始しており、前述の実運用時においても良好な予測精度が得られている。

7. 今後の課題

検討時においては、(財)河川情報センターより取得したレーダー雨量を用いたが、現在は、庄内川河川事務所内の統一河川情報システムからレーダー実況・予測雨量を用いて予測計算を行っている。今後も水位予測結果ならびに予測雨量精度の検証を継続して行っていく必要がある。

謝辞：本報告に際し、国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所の関係各位より資料の提供等を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 高棹琢馬・椎葉充晴・宝馨：貯留モデルによる実時間流出予測に関する基礎的研究，京都大学防災研究所年報 第25号 B-2, pp. 245-267, 1982.
- 2) 立川康人・椎葉充晴・立川温：予測更新システムの逐次重み更新手法を導入した実時間流出予測，京都大学防災研究所年報 第40号 B-2, pp. 159-167, 1997.
- 3) 橋本識秀，兪朝夫，星清：洪水流出予測における実際の課題とその解決法，水工学論文集，第36巻，pp. 567-572, 1992

(2007.4.5 受付)